

地震時市街地避難計画のシナリオシミュレーション技術に関する基礎的研究*

Study on Scenario Simulator for Evacuation Planning in Urban Area at Earthquake*

寺西伸太郎**・木保 昇***

By Shintaro TERANISHI**・Noboru KIMATA***

1. まえがき

地震時避難計画の策定は、各自治体の責務であり、市街地の個別条件の反映化と、防災訓練によるその実効性の向上化が求められている。本研究は、この責務の支援システムとして、著者らが開発・展開してきたペトリネットシミュレータを適用し、諸要求をシナリオないしは概念図として整理し、その部分ペトリネットの組み込み・結合化によって、対象市街地空間上での避難シミュレーションの構築と、視覚型シミュレーションの実行技術の提案を行う。

2. 避難計画シナリオの基本構成と部分ネット

(1) 地震時避難シナリオの基本構成要素

地震防災計画書において、避難計画は応急対応計画として位置付けられ、校下単位で避難場所が指定され、そこへの移動訓練が、予防計画である避難訓練によってなされている。近年、その訓練に際して阻害シナリオの組み入れが試みられるようになってきている。図1は、地震時災害の下での市街地避難シナリオを検討する際に必要となる基本要素を、4つの部分に分け、明示化したものである。

避難開始部 は、地震発生に伴い避難者が避難開始に至るまでの基本形を示している。避難路移動部 は、路上に出た避難者が避難場所に向かって移動する際の諸事象を示すもので、 は、その移動に際して阻害要因として作用する地震災害とその作用関係を示している。 は、避難場所部で、その中心は上述した指定避難場所であるが、これについてもシ

ナリオ想定が必要とするものである。

本論文で提案するペトリネットによるシナリオシミュレーション法は、概念図の基本部分ないしは基本事象の部分ペトリネットを構成し、それらの結合化によって避難計画案の動的表現化を行い、その視覚的シミュレーション実行によって、避難訓練以前に種々の検討を可能にするものであり、避難訓練の目的・何を確かめ、何を習得させるのかを明確するものともなる。

(2) 地震時避難シナリオの基本部分ネット構成

ここでは、図-1 の主要な部分の幾つかについて、そのペトリネット表現と動的挙動の説明をする。

図 2-1 は、 の避難開始部のペトリネットで、プレース(), トランジション(|), アーク(入出力: , 抑止: …)を要素とする記述となっている。系の状態は、プレースへのトークン()のマーキングによって示され、系の状態推移は、トランジションの発火則によるもので、

1) 全ての入力プレースにトークンがマーキングされていて、かつ全ての抑止プレースにトークンが存在しないとき、トランジションは発火し、

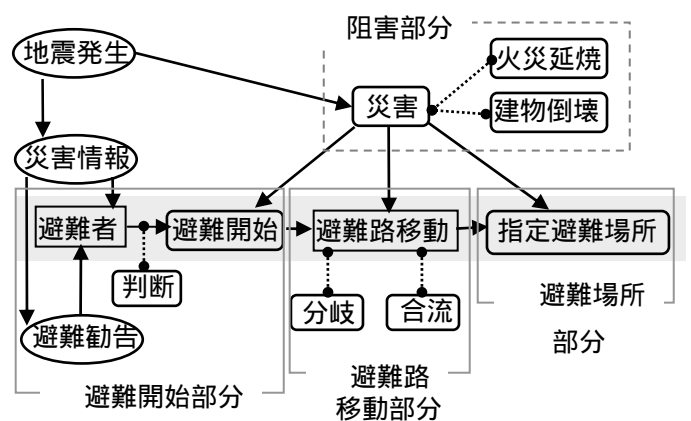


図1 地震時市街地避難シナリオの概念図

*キーワード：計画手法論，システム分析，防災計画，

**学生員，金沢大学大学院自然科学研究科
社会基盤工学専攻

***正員，工博，金沢大学大学院自然科学研究科教授
社会基盤工学専攻

(〒920-1192 金沢市角間町，
Tel.076-234-4914 Fax.076-234-4915)

E-mail : kimata@t.kanazawa-u.ac.jp

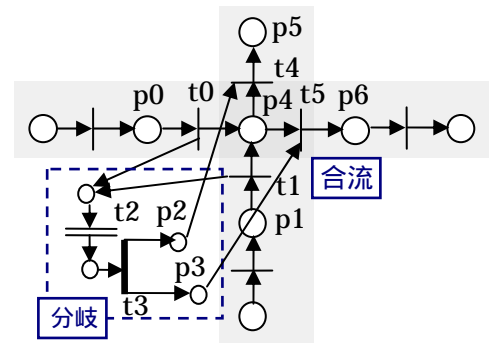
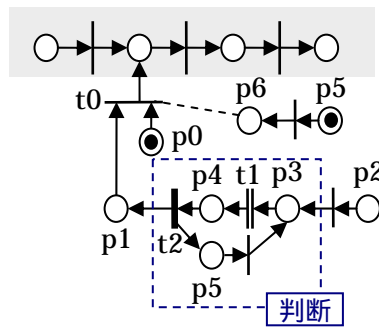
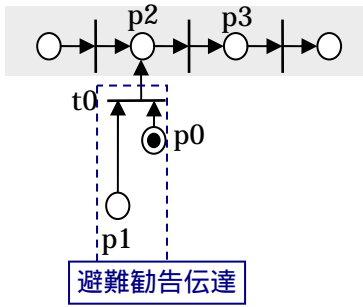


図 2-1 避難開始部分ネット(基本形) 図 2-2 避難開始部分ネット(拡張形) 図 3-1 経路移動部分ネット(分岐・合流)

2) 入力プレースからトークンが消えて、出力プレースにトークンが配置されるという形で推移する。

図 2-1 で、プレース p0 上のトークンは避難者の存在を示す。避難勧告の伝達を示す p1 へトークンがマーキングされれば、トランジション t0 に対して、上述の発火則の 1) が成立し、2) により p2 にトークンが配置され、避難者が避難路に出たことになる。図 2-2 は、避難勧告の伝達が直ちに避難開始に結び付くのではないという異議には、判断を経て結果的には確率的な開始となるという拡張化ないしは精緻化も可能なことを示している。このネットでは、t1 にはカラー生成トランジション、t2 には選択トランジションが用いられ、生成されたカラートークンに応じて、出力プレースが選択されるというネットとなっている。

図 3-1 は、の経路移動部のペトリネット例である。避難場所は右上方にあり、この交差路では、避難者の合流と分岐が起きる。左方からの避難者は、t0 で分岐判断ネットに、下方からの避難者は、t1 で分岐判断ネットに入り、右方ないしは上方かの経路選択をすることになる。ここでも図 2-2 と同様のトランジションが使用されている。

図 3-2 は、経路移動部で地震災害による避難障害が想定されるとしたことに対応するものである。障害の発生がない状態では、p0 にトークンがあり、引き返しのトランジション t4~t6 は抑止されている(…アーク)。建物倒壊による避難路閉塞が生じる(p1)と、トークンは p2 に移動し、t4~t6 への抑止が外れ、逆に閉塞区間の t1~t3 が抑止される。そのために避難者は、t5 t4 と発火させて、交差路まで引き返すというネットとなっている。

図 1 の概念図では、地震災害に伴う避難障害としては、建物倒壊に加えて火災延焼に伴うシナリオも

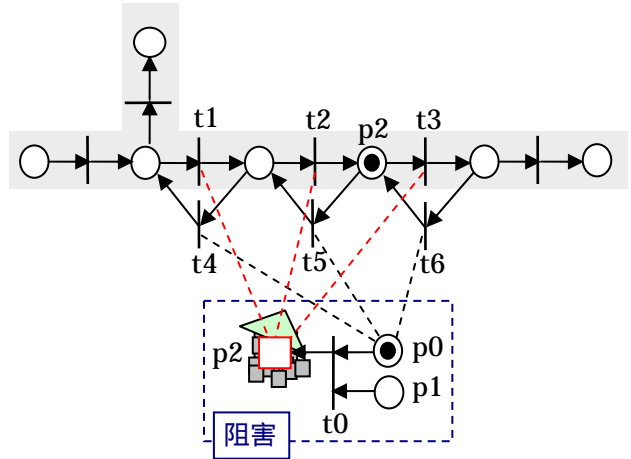


図 3-2 経路移動部分ネット(障害・引き返し)

必要としている。これについては、3. で改めて説明をする。

3. 地震火災シナリオのペトリネット組み込み法

(1) 地震時避難シナリオの基本構成要素

わが国では、依然として地震時火災のリスクは大きい。避難計画シナリオでは、この組み入れがカギとなる。火災延焼については、種々の研究があり、著者らもシミュレーションシステムの開発と検証研究を行っている。詳細は紙面の関係で参考文献に譲るが、シナリオ組み込みでは、火災延焼が市街地構成に加え、気象条件である風向・風速に大きく作用される点である。次項では、火災延焼シミュレーションとの連動の下での組み込み法について述べる。

(2) 避難シナリオの基本部ネットの構成

まず、図 4-1 は、南風、2m/s という気象条件の下での火災延焼シミュレーション結果の例で、地震発生直後の出火建物が、10 分後に炎上し、14 分後に延焼拡大した市街地状況を示している。この状況は出火点の位置、数、気象条件によって異なる。シナリオ作成では、これらの想定の下で、まず、この

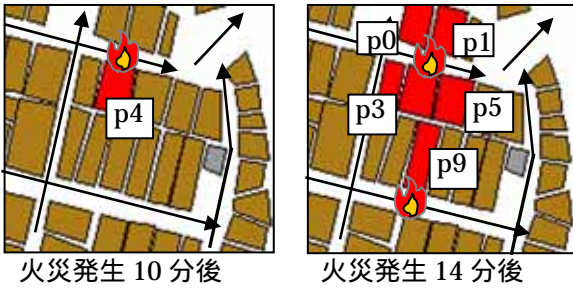


図 4-1 火災延焼のシミュレーション結果
(南風・風速 2m/s)

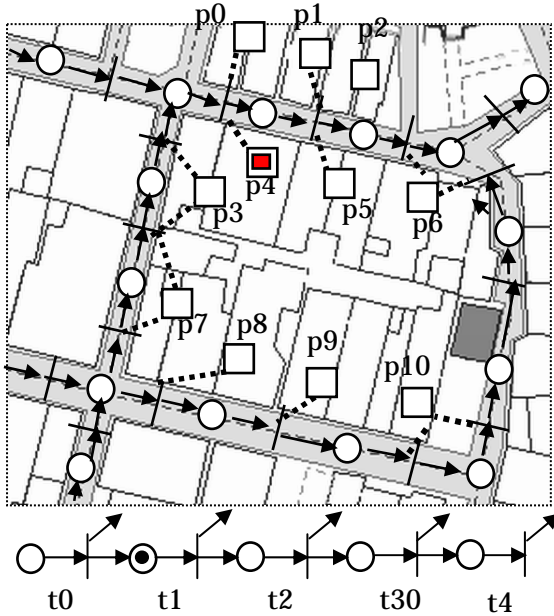


図 4-2 火災延焼に伴う障害ネット(10分後)

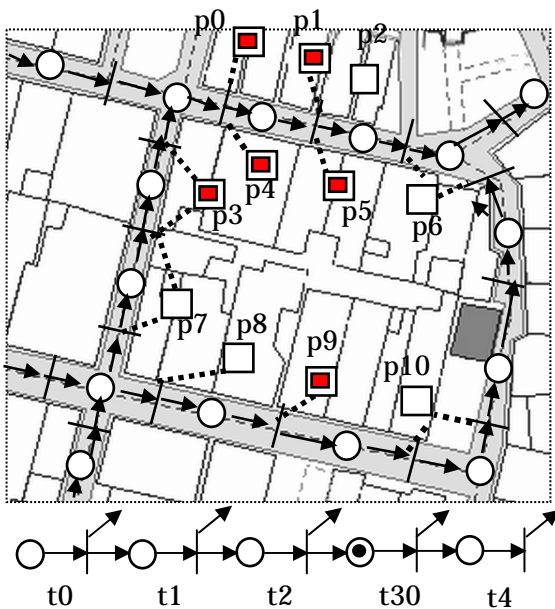


図 4-3 火災延焼に伴う障害ネット(14分後)

ような火災延焼シミュレーションを、(1)で述べたようなシステムで実行し、延焼拡大図を作成する。図中の番号はポリゴン型火災延焼シミュレーション

のデータ作成時に付与される建物番号である。

それを図 4-2 に示すように、下方に時間進行を示す単純ネットを用意し、出力プレースをシミュレーション結果と対応させ、上述の建物番号で指定するだけで良い。図 4-2 では、トークンの配置位置関係より、10 分後の火災阻害状況を示すもので、図 4-3 は、14 分後の阻害状況を示すものとなっていることが分かる。即ち、時間進行ネットの初期タイマを 10 分とし、その後のタイマを 2 分とすれば、トランジション t_0 の出力先 () は、プレース p_4 で、 t_1 の出力先は p_0 、 p_3 、 p_5 (延焼図略) となり、 t_2 では p_9 が加わることになる。これらの出力プレースから図 3-2 に示したように、避難路の移動トランジションに抑止アークを設定し、引き返しトランジションを追加・結合化することになる。

出力先や抑止先の指定、さらにはトランジションの追加は、著者らのペトリネットシミュレータでは、Sdata ファイル上で比較的容易に行うことができる。そのために、対象市街地の火災延焼シミュレーションデータさえ作成されていれば、種々の想定でのシナリオ検討は容易に行うことが可能といえよう。

建物倒壊による避難路閉塞阻害が時間の推移とは無関係で、固定的であるのに対して、火災延焼に伴う阻害は時間の推移にもなって変化する。図 4-2 の段階では上方の避難路のみが閉塞状態となるが、図 4-3 では、3 方の避難路で閉塞阻害が生じ、避難者は大きく引き返し、迂回しなければならない状況がシミュレーションされることになる。

4. 避難計画シナリオのシミュレーション実行

(1) 市街地避難シミュレーションネットの概説

著者らのペトリネットシミュレータでは、対象市街地地図を背景画像とし、その上でシミュレーションネットを構築することが可能である。図 5 は、金沢市東山地区の背景画像上で、図 1 に示した避難計画シナリオの各基本構成要素の検討・想定を行い、2.の(2)と 3.の(2)で述べたような諸部分ネットを結合化し、構築したシミュレーションネット例である。紙面の制約上、ここでは、2 箇所の指定避難場所(馬場小学校・子来町緑地)の位置と、地震時阻害としてここで想定する火災発生位置のみが読み取り可能なサイズとなっている。



図 5 シミュレーションネットの構成

(2) シミュレーション結果と考察

指定避難場所と障害想定位置とは、図 5 に示したような関係にある。指定避難場所への移動が障害される状況のときには、別の避難場所に向かう。具体的には、今回のシナリオでは、馬場小学校への避難障害の可能性が想定されていることになる。図 6 は、a)障害なし、b)火災 1 箇所、c)火災 2 箇所の各想定での 2 つの避難場所における避難完了者数の推移図である。

b)の火災 1 箇所のケースまでは、避難場所の変更は起こらず、馬場小学校へは 635 世帯、子来町緑地へは 340 世帯が避難している。それに対して、c)の火災 2 箇所のケースでは、馬場小学校へは 595 世帯と 40 世帯減少し、それらの避難世帯が子来町緑地へと避難場所の変更を行っているという結果となり、地震時火災発生の際の想定の下での避難計画・避難訓練の必要性が読み取れる結果となった。

5. あとがき

地震時市街地避難シナリオの概念図より、避難の際の要素を抽出し、それに基づき部分モデルを作成した。そして、部分モデルを結合・拡張することにより、地震時市街地避難のシナリオシミュレーションネットの構成法を示した。特に障害要因については、地震時防災計画に必要とされる障害の組み入れ方を明らかにした。また、我が国の地震防災計画においては、特に重要となる火災延焼に伴う障害

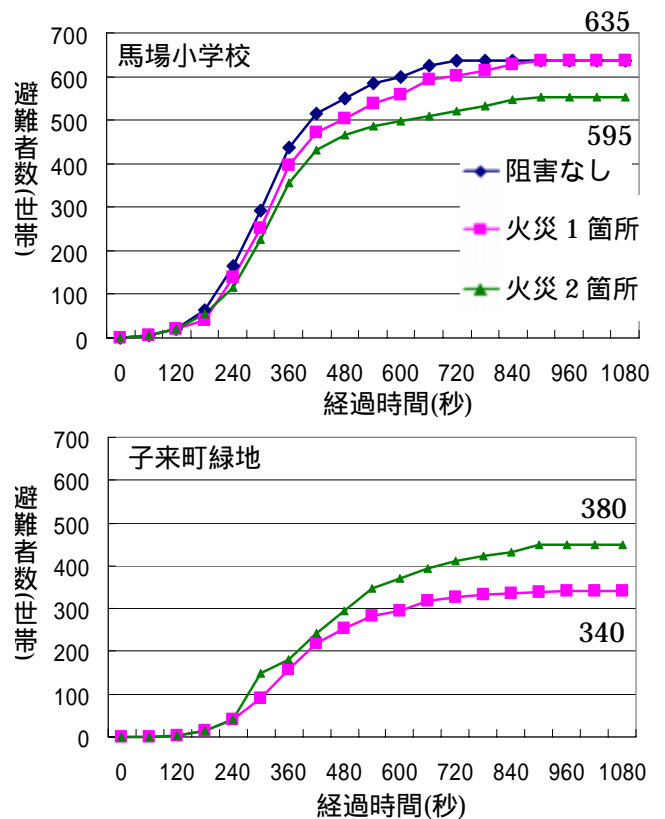


図 6 避難完了者推移図 風向:北西 風速:6m/s

シナリオについては、火災延焼シミュレーションとの連動下でペトリネット化し、組み入れ可能とした。これらのシナリオの変更は Sdata 上で可能としたが、この部分の使い易さの向上、つまり手法としての体系化が今後の課題である。

参考文献

- 1) 木俣, 中村: 交通流ペトリネットシミュレータにおける背景画像上でのデータベース化に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, pp.51-62, 2004.
- 2) 曾根, 木俣: ペトリネットによる背景画像上での建物避難シナリオのシミュレーション研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, pp.53-64, 2005
- 3) 二神, 木俣: 火災延焼シミュレーションを用いた防災樹林整備による防災まちづくり支援, 土木計画学研究・講演集, Vol.32, CD-ROM, No.363, 2005.